

BUNDESREPUBLIK DEUTSCHLAND

03 JUL 2004

PRIORITY
DOCUMENTSUBMITTED OR TRANSMITTED IN
COMPLIANCE WITH RULE 17.1(a) OR (b)

RECEIVED
09 AUG 2004
WIPO PCT

EP04/50927

Prioritätsbescheinigung über die Einreichung
einer Patentanmeldung

Aktenzeichen: 103 24 131.0
Anmeldetag: 26. Mai 2003
Anmelder/Inhaber: Continental Teves AG & Co oHG,
60488 Frankfurt/DE
Bezeichnung: Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines
Fahrzeugs
IPC: B 62 D 37/00

Die angehefteten Stücke sind eine richtige und genaue Wiedergabe der ursprünglichen Unterlagen dieser Patentanmeldung.

München, den 18. Juni 2004
 Deutsches Patent- und Markenamt
 Der Präsident
 Im Auftrag

Hintermeier

Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines Fahrzeugs

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines Fahrzeugs, bei dem die Regelabweichung aus dem Vergleich eines Istwerts mit einem Sollwert gebildet wird.

Auch nach erfolgreicher Markteinführung eines technischen Regelsystems ergibt sich häufig der Wunsch oder die Notwendigkeit zur Kostenreduktion. Einsparungen an der Sensorik stellen dabei einen möglichen Ansatz dar. Besonders lukrativ erscheinen in diesem Zusammenhang Lösungen, bei denen ein bisher verwendeter Sensor vollständig entfallen kann. Selbstverständlich muß dabei aber weiterhin eine ausreichende Systemfunktion gewährleistet bleiben. Auch ist es wünschenswert, bestehende Lösungen weitestgehend beibehalten zu können, um so bereits gesammelte Erfahrungen weiter nutzen zu können und Entwicklungsaufwand zu sparen.

Die gleiche Aufgabenstellung ergibt sich auch aus der Frage nach möglichen Notlaufegenschaften eines Systems. So kann es bei Ausfall eines der Eingangssignale wünschenswert oder erforderlich sein, die Systemfunktionalität auf Basis der verbleibenden Sensoren weiterhin aufrecht zu erhalten. Auch in diesem Fall ist es natürlich vorteilhaft, wenn die Notlauflogik weitgehend auf dem Standardsystem basiert.

Die hier vorgestellte Erfindung umfaßt ein Verfahren, mit dem sich eine Regelfunktion trotz Entfall oder Ausfall eines

- 2 -

Sensorsignals weiterhin beibehalten lässt. Besonderes Augenmerk liegt dabei auf der Vermeidung von fehlerhaften Regeleingriffen, wie sie ansonsten durch Störungen der verbleibenden Sensorik leicht hervorgerufen werden können.

Wünschenswert ist der Entfall von Sensoren insbesondere in der Massenfertigung, z.B. bei der Realisierung einer Fahrdynamikregelung ohne Gierratensor, welche auch den Gegenstand der folgenden technischen Beschreibung bildet. Ohne grundlegende Änderungen lässt sich das Verfahren aber auch auf den Entfall anderer Sensoren anwenden. Ebenso ist eine Übertragung auf andere Regelsysteme möglich. Ob die Realisierung als Stand-Alone-System oder als Notlauffunktion innerhalb eines bestehenden Systems, wie es zum Beispiel in der DE 195 15 059 A1 beschrieben ist, deren Inhalt Bestandteil der vorliegenden Anmeldung sein soll, erfolgt, ist letztlich nicht von Bedeutung.

Der Erfindung liegt die Aufgabe zugrunde, ein Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines Fahrzeugs zu schaffen, das eine kostengünstig Alternative zu bestehenden Regelungen ist.

Erfindungsgemäß wird diese Aufgabe dadurch Merkmale des Anspruchs 1 gelöst. Vorteilhafte Weiterbildungen sind in den Unteransprüchen angegeben.

Ansatz

Als Grundlage für die nachfolgend beschriebene Fahrdynamikregelung ohne Gierratensor dient ein bestehendes ESP-Regelsystem. Der Lenkwinkel δ , die Gierrate

- 3 -

$\dot{\Psi}$, die Querbeschleunigung a_{LAT} und die Radgeschwindigkeiten v_{FL} , v_{FR} , v_{RL} und v_{RR} stellen dabei die wesentlichen Eingangsgrößen dar. Die ESP-Regelung beruht im wesentlichen auf einem Vergleich des Fahrerwunsches, welcher aus Lenkwinkel, Radgeschwindigkeiten und Fahrzeugparametern in eine Sollgierrate umgerechnet wird, mit der gemessenen Gierrate $\dot{\Psi}$. Soll eines der Signale entfallen, so muß diese Größe zunächst hinreichend genau durch die verbleibenden Größen nachgebildet werden. Bei frontgetriebenen Fahrzeugen läßt sich ein Ersatzsignal der gemessenen Gierrate $\dot{\Psi}$ berechnen aus:

$$\dot{\Psi}_{EST} = c_1 \cdot (v_{RR} - v_{RL}) - c_2 \cdot a_{LAT} \cdot v_{REF}$$

mit c_1 , c_2 = Fahrzeugparameter und $v_{REF} = f(v_{FL}, v_{FR}, v_{RL}, v_{RR})$

Entsprechend gilt für heckgetriebene Fahrzeuge:

$$\dot{\Psi}_{EST} = c_1 \cdot (v_{FR} - v_{FL}) - c_2 \cdot a_{LAT} \cdot v_{REF}$$

Durch Anwendung geeigneter Signalverarbeitung kann das Rauschen reduziert und der Phasenverlauf von $\dot{\Psi}_{EST}$ dem Originalsignal $\dot{\Psi}$ angenähert werden. Wird das so gewonnene Ersatzsignal $\dot{\Psi}_{EST}$ anstelle von $\dot{\Psi}$ in den ESP-Regelalgorithmus eingespeist, so kann auf einfache Weise eine Fahrdynamikregelung ohne Gierratensor realisiert werden. Ohne zusätzliche Maßnahmen muß dabei jedoch mit einer hohen Störanfälligkeit gerechnet werden, was sich insbesondere durch ein vermehrtes Auftreten von unerwünschten Regeleingriffen bemerkbar macht.

- 4 -

Erfassbare Störungen des Ersatzsignals

Soweit möglich werden zusätzliche Eingangssignale oder interne Statusinformationen herangezogen, um Störungen der zur Bildung des Ersatzsignals verwendeten Größen zu erkennen. Ist eine Störung sowohl von ihrem zeitlichen Verlauf als auch von ihrer Größe her bekannt, kann ihr Einfluß auf das Ersatzsignal $\dot{\Psi}_{EST}$ direkt kompensiert werden. Ist beispielsweise das Querbeschleunigungssignal durch Fahrbahnquerneigung um den Betrag $\Delta a_{LAT,BANK}$ verfälscht, so ergibt sich ein korrigiertes Ersatzsignal aus:

$$\dot{\Psi}_{EST} = c_1 \cdot (v_{RR} - v_{RL}) - c_2 \cdot (a_{LAT} - \Delta a_{LAT,BANK}) \cdot v_{REF}$$

In der gleichen Weise können selbstverständlich auch Variationen der Fahrzeugparameter c_1 und c_2 kompensiert werden, wenn die Abweichungen zuvor durch einen geeigneten Algorithmus identifiziert worden sind.

Bestimmte Störungen werden durch das Regelsystem selbst verursacht bzw. sind durch dieses beeinflußbar. Normalerweise ist einem solchen Fall zwar der zeitliche Verlauf der Störung, nicht jedoch ihre Größe bekannt. Wird beispielsweise die Bremse betätigt, so spiegeln die Radgeschwindigkeitssignale nicht mehr das Fahrzeugverhalten wider. In einem frontgetriebenen Fahrzeug kann eine solche Signalstörung aber aktiv eliminiert werden, indem die Raddrücke an den Hinterrädern durch entsprechende Ventilaktivierungen abgebaut werden. Da ein solcher Druckabbau selbstverständlich nicht dauerhaft angefordert werden kann, muß zunächst anhand von anderen Eingangssignalen, die nicht durch diese Störung beeinflußt sind, festgestellt werden, ob eine Situation vorliegt, in der das Ersatzsignal für einen eventuellen Regeleingriff benötigt wird. Ergibt sich im gebremsten Fall durch

- 5 -

Vergleich von Lenkwinkel und Querbeschleunigung der Verdacht einer instabilen Fahrsituation, so wird ein aktiver Druckabbau an der Hinterachse angefordert. Kann aufgrund von weiteren Sensorsignalen oder Modellrechnungen davon ausgegangen werden, daß die Radsignale nicht mehr der Störung unterliegen, wird der tatsächliche Regelbedarf mit Hilfe des Ersatzsignals festgestellt. Eine Regelung kann dann wie im ungebremsten Fall erfolgen. Vorteilhafterweise ergibt sich bei einem Druckabbau an der Hinterachse häufig auch ohne bewußte Reaktion des Fahrers (konstante Pedalkraft) eine leichte Druckerhöhung an der Vorderachse, so daß im teilgebremsten Fall in der Regel keine Verzögerungseinbußen wahrgenommen werden.

Ist zwar der zeitliche Verlauf einer Störung bekannt, eine aktive Einflußnahme wie oben geschildert jedoch nicht möglich oder nicht erwünscht, so besteht schließlich die Möglichkeit, die Regelfunktionalität durch temporäre Verwendung eines zweiten Ersatzsignals aufrechtzuerhalten. Soll beispielsweise in einem frontgetriebenen Fahrzeug in einer Untersteuersituation ein aktiver Druckaufbau an der Hinterachse durchgeführt werden, so kann

$$\dot{\Psi}_{EST,TEMP} = \frac{a_{L4T}}{v_{REF}} - \Delta \dot{\Psi}_{EST}$$

für die Zeit des Eingriffes als temporäres Ersatzsignal verwendet werden. $\Delta \dot{\Psi}_{EST}$ stellt dabei die Differenz zwischen $\dot{\Psi}_{EST}$ und $\dot{\Psi}_{EST,TEMP}$ zum Zeitpunkt des Umschaltens dar und dient zur Vermeidung von Signalsprüngen beim Eintritt in die Regelung. Naturgemäß spiegelt das temporäre Ersatzsignal $\dot{\Psi}_{EST,TEMP}$ das Fahrzeugverhalten nicht in allen Fahrsituationen mit hinreichender Genauigkeit wider. Ob dieses Ersatzsignal

- 6 -

verwendet werden kann, muß daher durch eine geeignete Situationserkennung festgestellt werden.

Nicht erfaßbare Störungen des Ersatzsignals

Viele Störungen werden durch Unzulänglichkeiten der Sensoren (z.B. Rauschen, Signalfehler) oder durch nicht vorhersehbare Änderungen der Umgebungsbedingungen (z.B.

Fahrbahnunebenheiten) verursacht. Wenngleich der Einfluß dieser Störungen auf das Ersatzsignal nicht kompensiert werden kann, können potentiell daraus resultierende fehlerhafte Regeleingriffe durch geeignete Auswertung der zur Verfügung stehenden Informationen wirksam vermieden oder zumindest in ihrer schädlichen Auswirkung begrenzt werden.

Zur Vereinfachung der Darstellung wird im folgenden stets von einem Fahrdynamik-Regelsystem ohne Gierratensor für ein frontgetriebenes Fahrzeug ausgegangen. Weiterhin wird auf die gesonderte Darstellung der Vorderradgeschwindigkeiten verzichtet, obwohl diese selbstverständlich in analoger Weise genutzt werden können. Werden die Hinterradgeschwindigkeiten zusammengefaßt, so ist ein solches System also im wesentlichen abhängig von drei Eingangsgrößen:

$$\text{ESP-Logik} = f(\delta, \Psi_{EST}, v_{REF}) = f(\delta, a_{LAT}, v_{RL}/v_{RR})$$

Wird nun jeweils eine Größe entfernt, so lassen sich drei unterschiedliche Hilfsmodelle aufstellen. Jedes dieser Hilfsmodelle ist unabhängig gegen Störungen eines der Eingangssignale:

Modell = $f(\delta, a_{LAT})$ „ohne Radgeschwindigkeiten“

Modell2 = $f(a_{LAT}, v_{RL}/v_{RR})$ „ohne Lenkwinkel“

- 7 -

$$\text{Model3} = f(v_{RL}/v_{RR}, \delta) \quad \text{"ohne Querbeschleunigung"}$$

Diese Hilfsmodelle werden nun getrennt auf möglichen Regelungsbedarf für das Gesamtsystem untersucht. Im Fall von Modell kann dieses beispielsweise durch den Vergleich der aus Lenkwinkel und Querbeschleunigung berechneten stationären Gierraten geschehen:

$$\dot{\Psi}_\delta = \frac{\delta}{\frac{l}{v_{REF}} + eg \cdot v_{REF}} \quad \leftrightarrow \quad \dot{\Psi}_{a_{LAT}} = \frac{a_{LAT}}{v_{REF}}$$

mit l = Radstand und eg = Eigenlenkgradient

Für Model2 kann aus Querbeschleunigung und Radgeschwindigkeiten die Schwimmwinkelgeschwindigkeit bestimmt werden. Durch Integration ergibt sich ein grober Schätzwert für den Schwimmwinkel, der dann zur Feststellung des Regelungsbedarfs herangezogen werden kann:

$$\beta = \int \dot{\Psi}_{EST} - \frac{a_{LAT}}{v_{REF}}$$

Analog zum ersten Teilmodell können für eine Auswertung von Model3 schließlich wieder Gierratensignale verglichen werden, die aus Radgeschwindigkeiten und Lenkwinkel gewonnen werden:

$$\dot{\Psi}_{v_{RR}v_{RL}} = c_1 \cdot (v_{RR} - v_{RL}) - \frac{c_2 \cdot \delta \cdot v_{REF}^2}{\frac{l}{v_{REF}} + eg \cdot v_{REF}} \quad \leftrightarrow \quad \dot{\Psi}_\delta = \frac{\delta}{\frac{l}{v_{REF}} + eg \cdot v_{REF}}$$

Der Phasenverlauf aller Hilfsmodelle sollte durch geeignete Signalverarbeitung den Anforderungen des Gesamtsystems angepaßt werden. Weiterhin ist es vorteilhaft, wenn die Erkennung von Regelungsbedarf in den Teilmodellen durch eine individuelle Situationserkennung unterstützt wird.

- 8 -

Sind auf Basis des Ersatzsignals $\dot{\Psi}_{\text{EST}}$ alle Eintrittsbedingungen der Standard-Regellogik erfüllt, so werden vor Beginn eines Regeleingriffes zunächst alle Hilfsmodelle ausgewertet. Eine uneingeschränkte Regelung (wie in einem System mit Gierratensor) wird nur zugelassen, wenn alle Hilfsmodelle ebenfalls Regelbedarf anzeigen. Ist dieses zwar nicht bei allen, jedoch bei der Mehrheit der Hilfsmodelle der Fall, so kann vermutet werden, daß eines der Eingangssignale gestört ist und daß tatsächlich gar keine Situation vorliegt, die einen Eingriff erfordern würde. Da aufgrund der eingeschränkten Informationen aber nicht alle Situationen von jedem Hilfsmodell zuverlässig erfaßt werden können, ist es aber ebenso möglich, daß tatsächlich keine Störung der Signale vorliegt. Aus diesem Grund wird - je nachdem welches Teilmodell betroffen ist - nur ein Regeleingriff mit begrenzter Anforderungshöhe und/oder begrenzter Dauer zugelassen. Zeigt beispielsweise *Modell 1* als einziges keinen Regelungsbedarf an, so werden nur 15 bar Druckanforderung zugelassen; fehlt *Modell 2*, sind nur Regeleingriffe mit maximal 300 ms Dauer erlaubt. Zeigt schließlich nur eine Minderzahl der Hilfsmodelle einen Regelungsbedarf an, so muß mit hoher Wahrscheinlichkeit von einer Störung eines Eingangssignals ausgegangen werden. Der Regeleingriff wird in diesem Fall vollständig unterdrückt. Das Prinzip der kombinierten Betrachtung von Standardlogik und Hilfsmodellen ist in der Zeichnung dargestellt.

Natürlich kann nicht vollständig ausgeschlossen werden, daß durch dieses Verfahren gelegentlich auch notwendige Regeleingriffe eingeschränkt oder sogar unterdrückt werden. Durch geeignete Auslegung der Erkennung in den Hilfsmodellen läßt sich die Zahl solcher Fälle jedoch weitgehend

- 9 -

minimieren. Regelzyklen mit beschränkter Anforderungshöhe und/oder Dauer sind häufig unmittelbar vor oder nach einer uneingeschränkten Regelung zu beobachten (in einem Hilfsmodell wird der Regelbedarf zu spät erkannt oder zu früh zurückgesetzt), was üblicherweise nicht zu einer signifikanten Reduzierung der Regelgüte führt. Durch Auswertung von Art (z.B. Übersteuern, Untersteuern) und Richtung des Regelbedarfs in den Hilfsmodellen lassen sich fehlerhafte Regeleingriffe auch bei kombinierten Signalstörungen verhindern.

Problematisch sind lediglich Fälle, in denen zwar eine Signalstörung vorliegt, jedoch zusätzlich tatsächlicher Regelbedarf besteht. Läßt die Betrachtung der Hilfsmodelle in Verbindung mit zusätzlicher Situationserkennung einen eindeutigen Schluß auf ein einzelnes gestörtes Signal zu (z.B. Störung der Radgeschwindigkeiten), so kann – wie bereits oben beschrieben – für eine begrenzte Zeit auf ein alternatives Ersatzsignal umgeschaltet werden (z.B. $\Psi_{EST, TEMP}$). Dieser Modus ist insbesondere dafür geeignet, einen bereits aktiven Regelzyklus bei Auftreten einer Störung nicht sofort abbrechen zu müssen. Da keine weitere Absicherung der Signale möglich ist, sollten Höhe und Dauer der Regelanforderung strikt begrenzt werden.

Mit Hilfe aller geeigneten Eingangsgrößen wird ein Ersatzsignal für das entfallene bzw. ausgefallene Sensorsignal gebildet. Dieses Ersatzsignal wird in die bestehende Standard-Regellogik eingespeist. Soweit möglich werden erfaßbare Störungen des Ersatzsignals entweder kompensiert oder eliminiert. Alternativ wird vorübergehend auf ein alternatives Ersatzsignal umgeschaltet. Um fehlerhafte Regeleingriffe durch nicht erfaßbare Störungen

- 10 -

zu verhindern, werden Hilfsmodelle gebildet, die einzeln auf Regelbedarf untersucht werden. Nach einer Auswertung dieser Hilfsmodelle wird entschieden ob Regelanforderungen uneingeschränkt umgesetzt werden dürfen, ob Stärke und/oder Dauer des Eingriffs zu begrenzen ist oder ob ein Regelzyklus vollständig unterdrückt werden soll.

Patentansprüche:

1. Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines Fahrzeugs, bei dem die Regelabweichung aus dem Vergleich eines Istwerts mit einem Sollwert gebildet wird, dadurch gekennzeichnet, dass der Istwert in einem Modell ermittelt und mittels eines Mehrfachprozessmodells überprüft wird, in dem analytische Redundanzen für den Istwert aus Prozessmess- oder Prozessführungsgrößen gebildet werden, und der Istwert anhand einer Auswertung und logischen Verknüpfung der Redundanzen bewertet wird.
2. Verfahren nach Anspruch 1, dadurch gekennzeichnet, dass die Redundanzen unter Ausschluss jeweils einer der Prozessmess- oder Prozessführungsgrößen gebildet werden.
3. Verfahren nach Anspruch 1 oder 2, dadurch gekennzeichnet, dass der Istwert die Gierwinkelgeschwindigkeit ist.
4. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 3, dadurch gekennzeichnet, dass das Mehrfachprozessmodell aus mindestens zwei Teilmodellen gebildet wird, mit denen jeweils die zu ermittelnde Redundanz aufgrund physikalischer Gesetzmäßigkeiten mit Hilfe anderer physikalischer Größen, wie dem Lenkwinkel, der Lenkwinkelgeschwindigkeit, den Raddrehgeschwindigkeiten, der Querbeschleunigung, dem Radstand, dem Eigenlenkgradient, der Geschwindigkeit des Fahrzeugs gebildet wird, und die Redundanzen anhand der Teilmodelle so gebildet werden, dass jeweils eine der physikalischen Größen in einem Teilmodell ausgeschlossen wird.

- 12 -

5. Verfahren nach einem der Ansprüche 1 bis 4, dadurch gekennzeichnet, dass anhand der Auswertung und logischen Verknüpfung der Redundanzen untereinander und/oder mit Grenzwerten die Fahrsituationen ermittelt werden, bei denen eine Regelung der Fahrstabilität erfolgt.

6. Verfahren nach Anspruch 5, dadurch gekennzeichnet, dass der Istwert in Abhängigkeit von der Ermittelten Anzahl der Ergebnisse der Auswertung und logischen Verknüpfungen der Redundanzen als Eingangsgröße für eine Fahrstabilitätsregelung vorgesehen wird.

7. Verfahren nach Anspruch 5 oder 6, dadurch gekennzeichnet, dass eine Stellgröße, wie der Bremsdruck oder die Bremskraft, in Abhängigkeit von der Ermittelten Anzahl der Ergebnisse der Auswertung und logischen Verknüpfungen der Redundanzen modifiziert wird.

Zusammenfassung

Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines Fahrzeugs

Die Erfindung betrifft ein Verfahren zum Regeln der Fahrstabilität eines Fahrzeugs, bei dem die Regelabweichung aus dem Vergleich eines Istwerts mit einem Sollwert gebildet wird. Die Erfindung ist dadurch gekennzeichnet, dass der Istwert in einem Modell ermittelt und mittels eines Mehrfachprozessmodells überprüft wird, in dem analytische Redundanzen für den Istwert aus Prozessmess- oder Prozessführungsgrößen unter Ausschluss jeweils einer der Prozessmess- oder Prozessführungsgrößen gebildet werden, und der Istwert anhand einer Auswertung und logischen Verknüpfung der Redundanzen bewertet wird.

- 14 -

